

II науково-технічна конференція “НК в контексті асоційованого членства України в ЄС”  
15-19 жовтня 2018 року, м. Люблін, Польща

## НЕЙРОМЕРЕЖЕВА СИСТЕМА ТЕПЛОВОЇ ДЕФЕКТОМЕТРІЇ

*А.С. Момот, Національний технічний університет України “Київський  
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, м. Київ*

На сучасному етапі розвитку теплового неруйнівного контролю (НК) важливим напрямом досліджень є пошук або розробка методів цифрової обробки термограм. Така необхідність пояснюється тим, що отримані інфрачервоні зображення зазвичай містять високі рівні шумів. Завади можуть бути викликані нерівномірністю нагріву, складною внутрішньою структурою об'єкту контролю (ОК), недосконалістю вимірювальної апаратури та іншими факторами. Це призводить до спотворення теплових відбитків дефектів, що ускладнює визначення положення та форми виявлених аномалій. В багатьох випадках необхідно отримати інформацію не лише про розташування та поперечні розміри дефектів, а й визначити глибину їх залягання, товщину, побудувати теплові томограми. В умовах високої зашумленості вхідних даних та впливу на результат діагностики великої кількості взаємопов'язаних параметрів актуальним завданням є розробка автоматизованих систем теплового НК, які забезпечували б високу інформативність та достовірність контролю.

Визначення глибини залягання дефектів можливе за результатами проведення активного теплового контролю. Для аналізу динамічного теплового поля ОК під час процедури контролю з певною кадровою частотою записуються послідовності термограм. Температурні профілі в точках термограми будуть відрізнятися для дефектної і бездефектної ділянок. Аналізуючи форму, часові та фазові характеристики температурних профілів, роблять висновки щодо глибини залягання та розмірів дефектів. Оскільки температурні профілі є одномірними векторами, що містять піксельні значення температур в точках поверхні ОК, для їх опрацювання застосовуються методи цифрової обробки сигналів. В роботі [1] проведений порівняльний аналіз існуючих методів обробки термограм. В ході дослідження авторами встановлено переваги та недоліки методу вейвлет-перетворення і методу аналізу головних компонент, динамічної теплової томографії та нейронних мереж (НМ). В результаті встановлено, що алгоритми на базі нейронних мереж є найбільш оптимальними для застосування в складі автоматизованих систем активного теплового контролю. Це пояснюється високою адаптивністю НМ, їх здатністю працювати в умовах високих рівнів завад та ефективно вирішувати багатопараметрові нелінійні задачі [2]. В тепловому контролі нейронні мережі можуть бути використані для класифікації та побудови карт дефектів, а також в задачах теплової дефектометрії та томографії.

Основну інформацію про параметри та характеристики дефектів несуть не термограми, що є двовимірними цифровими зображеннями, а одновимірні температурні профілі. Зважаючи на простоту форми вхідних даних, в активному тепловому контролі доцільно використовувати нейронні мережі зворотного поширення похибки. Для навчання мережі на її входи подаються зразки теплових профілів дефектних та бездефектних точок, у відповідність яким ставиться певна характеристика дефекту. Характеристикою може бути тип або клас дефекту, глибина його залягання, товщина або будь-який інший параметр. Гнучкість та висока адаптивність НМ дозволяють вирішувати задачі, які на сьогоднішній день неможливо розв'язати традиційними статистичними або аналітичними методами. Наприклад, товщину (розкриття) дефектів в тепловому НК можна оцінити лише відносно [3]. Для цього порівнюють величину максимального диференційного температурного сигналу для дефектів, що залягають на однаковій глибині та мають однакову площу. Інші методи визначення товщини базуються на схожих принципах. Використання нейронних мереж дозволяє отримати конкретні числові значення товщини дефектів з точністю до одиниць відсотків.

Засобами програмного пакету NI LabVIEW було реалізовано алгоритми системи теплової дефектометрії. Передня панель віртуального приладу показана на рис.1. Ядром системи є три нейромережевих модулі. Кожен із модулів вирішує окрему задачу – визначення типу дефекту, визначення глибини залягання дефекту, визначення товщини дефекту. Зазначимо, що існує можливість використання однієї НМ для вирішення всіх перелічених задач одночасно. Однак, такий підхід є невиправданим, оскільки призводить до значного зростання складності структури мережі і помітного збільшення похибки та обчислювальних витрат. В усіх трьох модулях використовувалася нейронна мережа зворотного поширення похибки, побудована засобами набору інструментів NNtool програмного пакету MATLAB.

В якості вхідних даних система використовує масиви піксельних значень температур, які складаються з наборів температурних профілів у кожній точці термограми. В даному випадку, набір вхідних даних отримано за допомогою комп’ютерного моделювання активного теплового контролю алюмінієвої пластини розміром 100 x 100 мм та товщиною 10 мм. В середині пластини розміщені штучні моделі дефектів різного розміру, що залягають на різній глибині. Пластина нагрівалася тепловим потоком з густиною потужності 10 кВт, який було прикладено до лицьової грані пластини протягом 0,3 секунд. В результаті записано послідовність з 50 термограм роздільною здатністю 400 x 400 пікселів. Відповідно, кожен температурний профіль складається із 50 елементів. Моделювання виконувалось в програмному пакеті COMSOL Multiphysics.

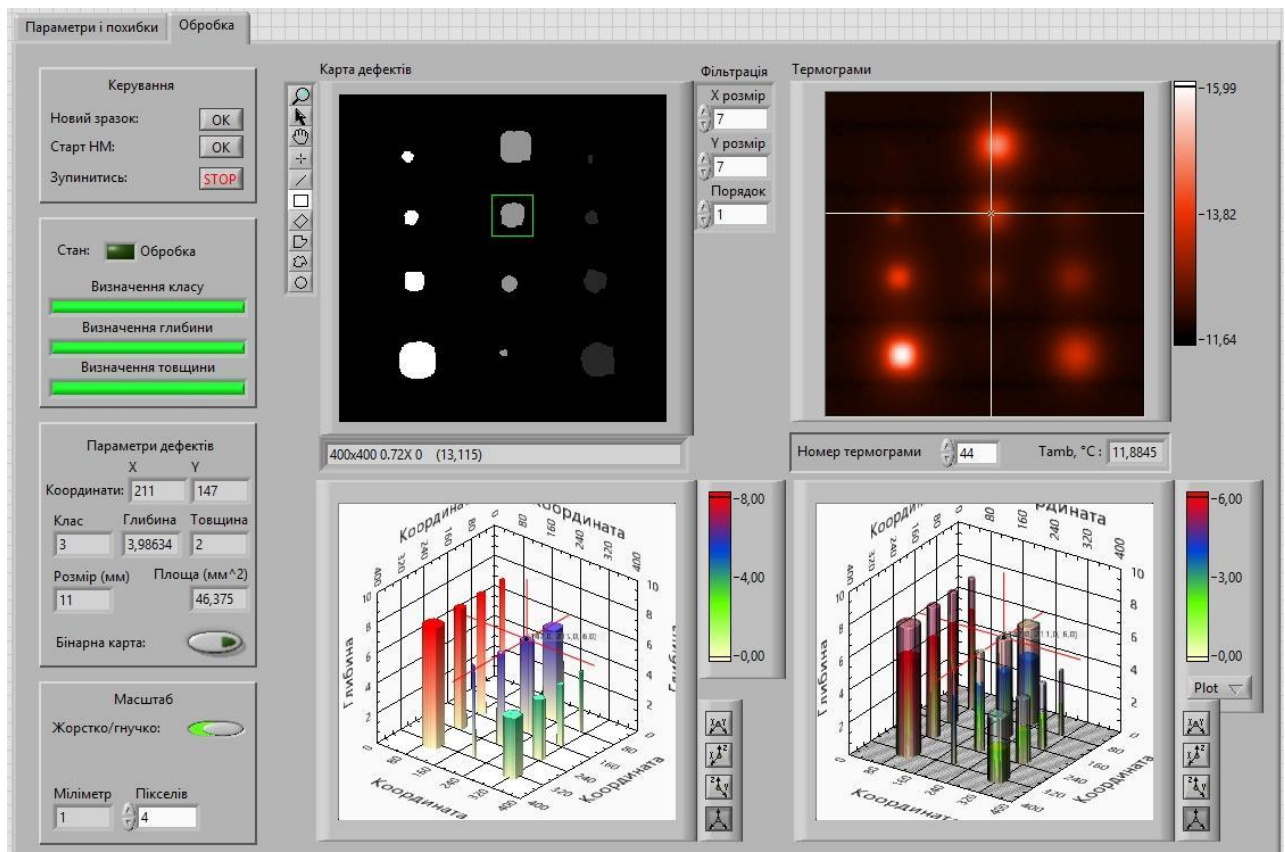


Рис. 1. Передня панель віртуального приладу системи теплової дефектометрії

Передня панель розробленої системи містить 4 графічних вікна, які містять зображення карти дефектів, початкових термограм та теплові томограми. Використовуючи відповідні інструменти для роботи з картою дефектів, існує можливість виміряти поперечні розміри та площу дефектів, визначити їх тип, глибину залягання та товщину. У вікні, що містить початкові термограми, передбачена

можливість виміряти надлишкову температуру в заданій точці. Теплова томограма містить зображення відбитків дефектів на відповідній глибині залягання. Знаючи товщину дефектів, можна відтворити їх форму в середині об’єкту контролю. На жаль, NI LabVIEW не надає засобів для створення повноцінного 3D зображення внутрішньої структури об’єкту. Тому зображеннями дефектів виступають напівпрозорі вершини стовпчиків на тепловій томограмі. Наявних інструментів та засобів достатньо, щоб в повній мірі вирішувати задачі теплової дефектометрії.

На рисунку 2 показано блок-діаграму одного із нейромережевих модулів. Синаптичні ваги, значення зміщень нейронів та інші параметри мережі імпортуються з текстового файлу. Алгоритм роботи мережі реалізовано у вигляді програмного коду мовою MATLAB. Для інтеграції коду в середовище NI LabVIEW використовується модуль MathScriptRT. Такий підхід дозволяє значно збільшити швидкодію всієї системи, оскільки графічна мова програмування G, що використовується в NI LabVIEW, є мовою високого рівня. Її заміна більш низькорівневою мовою пакету MATLAB призводить до помітного пришвидшення роботи за великих обсягів розрахунків.

Робота системи починається з імпорту та завантаження термограм, нейронних мереж та їх параметрів. Наступним кроком запускається робота НМ для визначення типу дефектів. На основі результатів її роботи будується карта дефектів. На даному етапі аналізуються всі точки термограми. Після визначення дефектних точок, в наступні модулі системи передаються лише відповідні вектори теплових профілів, що позитивно впливає на швидкодію. Для виявлених дефектних точок другим модулем визначається глибина залягання дефекту. За отриманими результатами будується теплова томограма. Останнім запускається в роботу модуль визначення товщини дефектів та побудови зображення внутрішньої структури ОК.

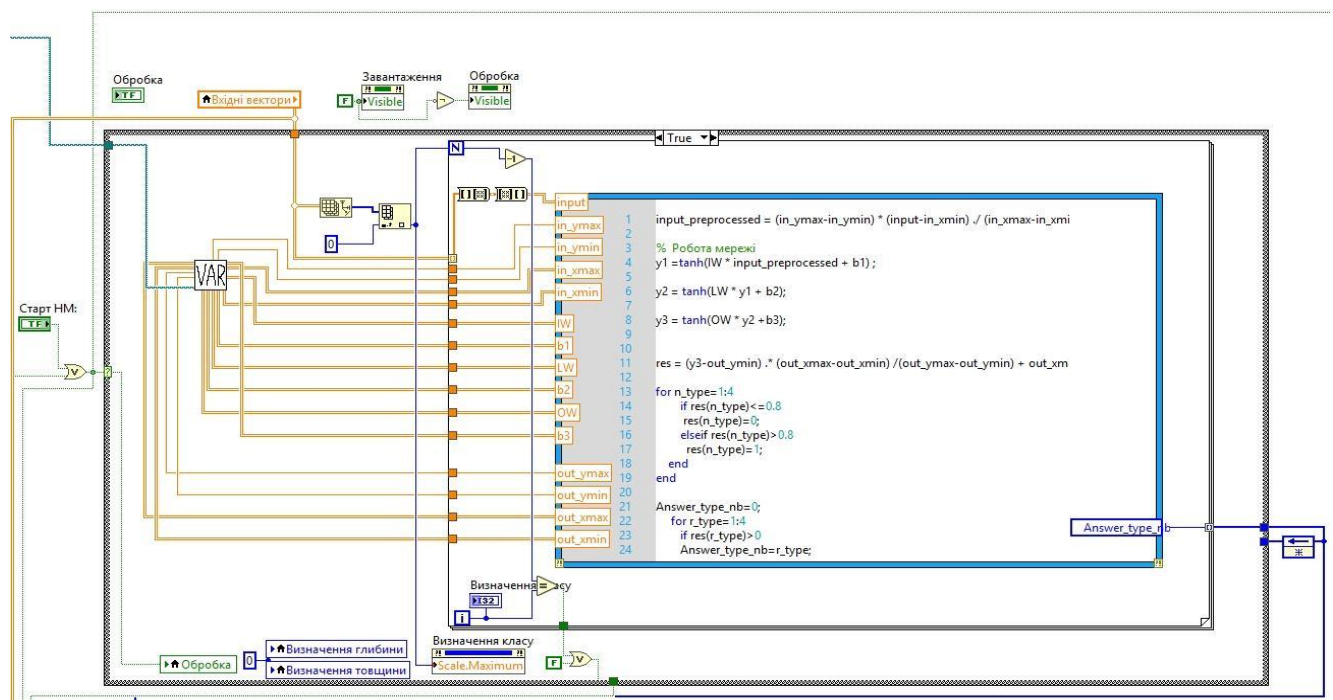


Рис. 2. Блок-діаграма модулю для роботи з НМ

Після завершення роботи НМ, всі нейромережеві модулі стають неактивними. На цьому етапі оператор має змогу опрацювати отримані результати. Розроблена система дозволяє отримати найбільш достовірні результати вимірювання глибини залягання та товщини дефектів у порівнянні з існуючими методами [4]. Значення середньоквадратичної похибки визначення характеристик дефектів наведені в таблиці 1. Похибка класифікації дефектів складає 31,2%. Це пояснюється тим, що значна

кількість пікселів були визначені як дефектні через вплив високого рівня теплової дифузії. За наведених умов контролю та параметрів ОК і дефектів уникнути високих спотворень форми теплових відбитків неможливо. Тому похибка визначення площі також має високий рівень. Значення критерію Танімото для даного дослідження склало 68,2%, що є непоганим результатом серед аналогічних досліджень [5].

Таблиця 1. Похибки вимірювання параметрів дефектів

Параметр:	Площа	Глибина залягання	Товщина
Середньоквадратична похибка (MSE), %	46,6	0,1	0,49

Отже, розроблена система дозволяє проводити теплову дефектоскопію та дефектометрію з високою точністю. Застосування нейронних мереж в якості засобу обробки термограм призводить до підвищення достовірності контролю. Рекомендується використовувати дану систему для контролю однотипних виробів, що потребуватиме лише однократного навчання мереж. Контроль слід проводити в лабораторних умовах з метою зменшення впливу сторонніх факторів на його результати. В іншому випадку існуватиме необхідність формування значної за обсягом бази навчальних даних та ускладнення архітектури мереж, що негативним чином вплине на їх ефективність. Недоліком системи є значна залежність точності вимірювань від параметрів тепловізійної апаратури. Найбільш перспективним є застосування систем на базі НМ для контролю багатошарових та композиційних матеріалів у зв'язку зі складністю їх внутрішньої будови та наявності високих рівнів завад. Використання інтелектуальних систем обробки даних дозволяє зменшити роль оператора в прийнятті рішень, що позитивно впливає на достовірність результатів контролю. Основним завданням для подальших досліджень є пошук шляхів оптимізації системи з метою підвищення її швидкодії та можливостей роботи у реальному часі.

1. Галаган Р.М., Момот А.С. Аналіз методів цифрової обробки термограм // Вісник Національного Технічного Університету України «КПІ». Серія приладобудування. – Київ. – 2018. – № 55(1). – С. 108-117.

2. Vavilov V. P., Nesteruk D. A. Active thermal inspection of composite materials with the use of neural networks // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2011. – Vol.2011. – pp. 655–662.

3. Вавилов В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М: ИД Спектр, 2013. – 544 с.

4. Jiangang S. Analysis of data processing methods for pulsed thermal imaging characterisation of delaminations // Quantitative InfraRed Thermography Journal. 2013. Vol. 10. pp. 9–25.

5. Multivariate Infrared Signal Processing by Partial Least-Squares Thermography / F. López, V. Nicolau, X. Maldague, C. Ibarra-Castanedo // proc. VIIth IWASPNDE / F. López, V. Nicolau, X. Maldague, C. Ibarra-Castanedo. – Québec, Canada, 2013. – pp. 29–34.